

# Análisis multivariable de la afectación en términos de ruido y demoras debido al control del tráfico en carreteras



**Ing. Kelvin Javier Chávez García Mg. Sc.**

Ingeniero Mecánico en Universidad Técnica de Manabí  
Docente principal, tiempo completo, UTM  
Master en Ingeniería Acústica: Contaminación Acústica,  
en la Universidad de Granada

[kelvin\\_chavez71@yahoo.com](mailto:kelvin_chavez71@yahoo.com)

## RESUMEN

*El ruido del tráfico afecta a un gran número de personas disminuyendo su calidad de vida, especialmente en poblaciones urbanas. El tráfico llega a representar hasta el 80% de la contaminación acústica total. Es debido a esto que la Directiva Europea de Ruido Ambiental, con el fin de contar con indicadores de ruido comunes, quiere que se midan los niveles de ruido, localmente, y de esta manera poder elaborar mapas de ruido y planes de acción destinados a reducir los efectos nocivos del ruido ambiental.*

*La regulación del tráfico, a través de la señalización semafórica, permite ejercer control en una red viaria que priorice los movimientos de vehículos en las intersecciones. Una adecuada regulación del tráfico, en base a unas óptimas políticas de control, redundará en mejoras sobre el medio ambiente, reducción del ruido y tiempos de espera.*

*El presente trabajo, utilizó como metodología, en este caso el “Estudio Piloto del Tranvía en la ciudad de Sevilla”, donde se pudo modelar el ruido del tráfico generado por coches, el tranvía, y todos juntos; con regulaciones de paso peatonal y prioridad semafórica, y velocidades de circulación.*

*De este estudio piloto se concluye, de las tres alternativas propuestas, que la zona que genera mayores niveles acústicos, está representada en el modelo, como la intersección de la Av. Méndez Pelayo y Av. del Cid, debido principalmente a un gran tráfico vehicular.*

**Palabras claves:** intersección señalizada, ruido de tráfico, niveles de emisión de ruido.

## ABSTRACT

*The noise of traffic it affects a great number of persons diminishing his quality of life, specially in urban populations. The traffic manages to represent up to 80 % of the acoustic total pollution. It is due to this that the European Board of Environmental Noise, in order to possess common indicators of noise, wants that the levels of noise measure up, locally, and hereby to be able to elaborate noise maps and action plans destined to reduce the harmful effects of the environmental noise. The regulation of the traffic, across the signposting semafórica, allows to exercise control in a network viaria that prioritize the movements of vehicles in the intersections. A suitable regulation of the traffic, on the basis of a few ideal policies of control, will redound to improvements on the environment, reduction of the noise and times of wait. The present work, it used as methodology, a case of study, of a Pilot Study of the Streetcar in the city of Seville, where it was possible to shape the noise of traffic generated by cars, the streetcar, and all together; with regulations of pedestrian step and priority semafórica, and speeds of traffic.*

*Of this pilot study one concludes, of three proposed alternatives, that the zone that generates major acoustic levels, is represented in the model, as the intersection of the Av. Méndez Pelayo and Av. of the Leader, owed principally to a great traffic traffic.*

**Keys words:** put up signs intersection, noise of traffic, levels of emission of noise.

**Recibido:** 17 de mayo, 2012

**Aceptado:** 8 de junio, 2012



## INTRODUCCIÓN

**L**os vehículos en marcha producen diversos ruidos, generalmente proceden de dos fuentes principales: del sistema motor-escape y del rozamiento. En las calles y carreteras, el ruido se produce por el efecto acumulativo del que origina cada vehículo. (VALDES, A. Ingeniería de Tráfico. 2008).

El ruido de tráfico en carreteras afecta a un gran número de personas, especialmente en áreas urbanas y es generalmente una de las principales fuentes de quejas. (STOILOVA, K. 1998).

El ruido afecta directamente a la calidad de vida, principalmente en las zonas de gran densidad de población donde existe un gran volumen de tráfico. Sus orígenes y su propagación dependen de la interacción de tres factores:

- Los vehículos: tipo, número y velocidad;
- La estructura de la carretera: su concepción, construcción y materiales;
- El medio próximo al sistema

carretera- entorno.” (OCDE, 1995). El tráfico rodado es una de las principales fuentes de ruido en las zonas urbanas, llegando a representar entorno a un 80 % de la contaminación acústica total. (SMILE, proyecto).

Debido a esto, la Directiva Europea del Ruido Ambiental, exige se midan los niveles de ruido, en su entorno local, con el fin de contar con indicadores de ruido comunes, elaborar mapas de ruido y planes de acción destinados a reducir los efectos nocivos de ruido ambiental. De acuerdo con la Directiva Europea del Ruido Ambiental, en referencia a los lugares donde se padece el ruido, se aplica, “al ruido ambiental al que estén expuestos los seres humanos en particular en zonas urbanizadas”, en parques públicos u otras zonas tranquilas de aglomeración, en zonas tranquilas de campo abierto, en las proximidades de centros escolares y en los alrededores de hospitales.

De acuerdo a Libro Verde (2001), previsiblemente el transporte seguiría creciendo en un 2% anualmente; se hace mención al

aumento de la demanda de transporte, “junto con las lagunas existentes en las infraestructuras y en el sistema de transporte, en particular en lo que se refiere al tráfico internacional y al reparto de los flujos entre modos de transporte, exagera los fenómenos de congestión (saturación de las ciudades, redes viarias y aeropuertos) y repercute de forma negativa sobre el medio ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos europeos”.

Los vehículos privados son con frecuencia el principal modo de transporte en las zonas urbanas. En muchos casos se abusa de los coches; en muchos países, alrededor del 50% de los viajes cubren menos de 2 km, y la tasa media de ocupación es de 1.2 personas por coche. (SMILE, proyecto).

De acuerdo a (VALDES, A. 2008), existen tres características básicas que definen técnicamente el complejo fenómeno del tráfico:

- La intensidad de tráfico.
- La composición o clases de vehículos
- La velocidad.

La regulación del tráfico, a través de la señalización semafórica, ocasiona paradas en el tráfico generando congestión. Esta congestión del tráfico no solo puede ocasionar pérdidas económicas, también el incremento del ruido y contaminación visual, intento de los conductores por eludir la congestión usando desvíos por rutas alternativas en ocasiones a través de áreas residenciales, incremento del tiempo de viaje, y un inaceptable estrés en los conductores.

Los vehículos públicos que llegan a las intersecciones reguladas por semáforos tienen preferencia del paso, esto influye afectando el resto del tráfico, esta afectación puede ser medida como balance de emisiones (ruido) y demoras.

Establecer una formulación que determine este balance, permitirá tomar acciones en las intersecciones que no afecten negativamente al resto del tráfico.

Una adecuada regulación del tráfico, en base a unas óptimas políticas de control, redundará en mejoras sobre el medio ambiente, reducción del ruido y tiempos de espera. Uno de los prerrequisitos para la eficiencia del control de tráfico es la disponibilidad de verdaderas y fiables mediciones. Los puntos sensores son usualmente implementados como circuitos inductivos en las superficies de carreteras, aunque incluso radar, microondas, fotocélulas y cámaras dispositivos base son encontrados. El monitoreo de ruido es aplicado para estimar la intensidad del tráfico y la longitud de colas de vehículos. (STOILOVA, K. 1998).

En el análisis de las diferentes bibliografías, destacan diferentes modelos, estrategias y estudios que se han venido realizando relacionados al tema investigado como se puede apreciar en las líneas siguientes, intentando no sesgar la información disponible:

- Estrategia del control urbano de tráfico-sensible, en base al modelo de red de tráfico urbano

con el uso de la teoría de regulador cuadrático-lineal.

- Control de tráfico ligero, en tiempo real, aplicable al control en intersecciones. El monitoreo de ruido es aplicado para estimar la intensidad del tráfico y la longitud de colas de vehículos.
- Evaluación del ruido de tráfico, mediante el uso del sistema de información geográfica (GIS).
- Modelo computacional con un enfoque Euleriano - Langrangiano, en intersección de calles bajo flujo de tráfico inducido.
- Modelo LWR, Lighthill-Whitham and Richards de flujo de tráfico, del grupo de modelos macroscópicos y cinéticos, de predicción de flujo de tráfico.
- Modelo de predicción de tráfico en carreteras en tiempo real, con una correlación espacio temporal.
- **ITS:** Sistemas de Transporte Inteligente, es un programa de investigación de la Universidad de Washington, una infraestructura que empezó a desarrollarse para grandes vías, calles de ciudades, en autos y camiones que pueden usar información del tráfico sobre altas velocidades y tener viajes más seguros.

La preferencia en redes de control de tráfico, constituye actualmente de interés con tecnologías como las siguientes:

- **PROMETEO:** Plataforma Tecnológica Española en el área de los Sistemas de Inteligencia Integrada. Constituye una red de cooperación científico - tecnológica integrada por los agentes tecnológicos relevantes del área. (tomado del sitio web: <http://www.prometeo-office.org/>).
- **ARTEMIS:** Advanced Research & Technology for EMbedded Intelligence and Systems
- **Proyecto COOPERS:** Cooperative Systems for Intelligent Road Safety. Con el objetivo de evitar atascos de tráfico, accidentes y demás peligros. Su principal característica es que es capaz de recoger datos procedentes de

multitud de fuentes, entre las que se incluyen paneles de señalización digital situados por todas las autopistas, radares de tráfico y los que incorporan los propios vehículos. (Tomado del sitio Web: <http://www.idg.es/dealerworld/La-UE-aprovecha-IFA-para-presentar-su-proyecto-Coopers/seccion-/noticia-70910>).

Este estudio analizó principalmente la influencia sobre el ruido ambiental en las ciudades que tendrá la implementación de un sistema de priorización del transporte público.

## METODOLOGÍA

La presente investigación se presenta como un “caso de estudio”, el mismo que fue llevado a cabo en la ciudad de Sevilla, y tiene por nombre: “Estudio Piloto – Tranvía – Sevilla”, con la autoría de la empresa SINCOSUR Ingeniería Sostenible, S.L., que cedió generosamente los datos aquí tratados. Este estudio piloto (aun en proceso) consiste en modelizar el paso del tranvía, coches, autobuses, vehículos pesados; que transitan a través del recorrido propio del tranvía, y de las vías e intersecciones principales que interactúan con éste, para obtener los niveles de ruido generados por todos éstos, y establecer las bondades del transporte público. Se establecieron tres alternativas:

1. Simulación “Sin tranvía”
2. Simulación “Coches más tranvía”
3. Simulación “Solo tranvía”

Los datos de entrada y resultados del programa predictivo, provienen de la misma fuente autor del estudio piloto, los mismos que básicamente consisten en: cartografía básica, datos de edificación; viales: IMD, tipo de vehículos que circulan y tipo de tránsito, características técnicas del vial, velocidad de paso; líneas ferroviarias: intensidad y velocidad de paso, tipo de tren y porcentaje de frenos, características de los raíles, zonas cubiertas o descubiertas.



Insertada las fuentes emisoras, configurado el cálculo, se extrajeron los resultados mostrados como imágenes tanto de día como de noche de los niveles de ruido.

Como este estudio piloto se encuentra todavía en fase de desarrollo, no se muestran aquí medidas de comprobación.

El tramo seleccionado en el estudio piloto, es precisamente por donde circula el tranvía; es decir, desde y hacia la Estación San Bernardo - Plaza Nueva, con un recorrido de 2.2 Km., a través del casco histórico de Sevilla para mejorar la movilidad en éste, su recorrido consiste: desde San Bernardo, se dirige por la avenida Carlos V hasta la Pasarela, con prioridad semafórica, para llegar a la calle San Fernando, seguidamente, cruza la Puerta de Jerez, recorre la Avenida de la Constitución hasta llegar a la Plaza Nueva; su recorrido por zona peatonal no le permite exceder los 20 Km/h; el trayecto es de aproximadamente 10 minutos, con una frecuencia de paso de 7 minutos; viene operando desde el 2007. (TUSSAM: Transportes Urbanos de Sevilla, S.A.M; <http://www.tussam.es/>).

Figura 1. ITINERARIO LINEA TRANVIA-SEVILLA



FUENTE: TUSSAM: Transportes Urbanos de Sevilla, S.A.M; <http://www.tussam.es/>

Figura 2. DESCRIPCION VIA PRINCIPAL AV. MENDEZ PELAYO – AV. DEL CID



FUENTE: Google Earth

### CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DEL RECORRIDO:

La Estación San Bernardo, escogida como uno de los puntos de cálculo en el modelo, es el inicio del recorrido en el sentido Este-Oeste. Sigue el recorrido en dirección hacia la siguiente parada Prado De San Sebastián, interceptando una gran rotonda (cruce de dos carreteras con tráfico considerable entre ambas), con paso vehicular por el centro de ésta; al costado derecho de la vía se encuentra Estación de Autobuses de Sevilla, en los alrededores: centros comerciales, hosterías, colegio de abogados. El tranvía sigue su recorrido hasta interceptar la rotonda sobre la Av. Méndez Pelayo y Av. del Cid; en sus

entornos hay áreas verdes, biblioteca, edificios; el tranvía sigue su recorrido hacia la siguiente parada Puerta de Juárez. Velocidad de circulación de vehículos a 50 km/h (utilizada en los cálculos de simulación) sobre la vía principal (Av. De Carlos V), aunque lo recomendado al acercarse a una rotonda es 40 km/h, y una vez dentro se sugiere una velocidad de 20 km/h (ROUNDAABOUTS: AN INFORMATIONAL GUIDE. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. 2000. <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/00068/00068.pdf>).

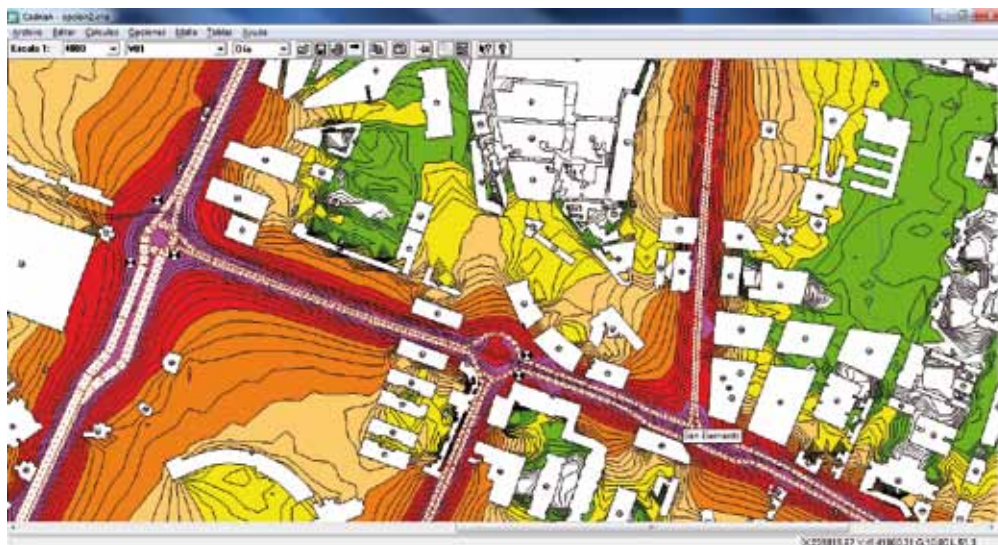
### RESULTADOS

Procesados los datos en el modelo predictivo, se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran como imágenes, de la alternativa 2, considerando que muestra el trabajo del tranvía más los coches.

Se muestran las imágenes de los niveles acústicos simulados para el día, la tarde y la noche, y el global de todo el día; representados como L<sub>día</sub>, L<sub>tarde</sub>, L<sub>noche</sub>, y L<sub>den</sub>, respectivamente. (Esto se realizó con cada una de las alternativas señaladas en la metodología).

## Alternativa 2. Simulación “Coches más tranvía”

IMAGEN I. Ldía



FUENTE: SINCOSUR Ingeniería Sostenible, S.L.

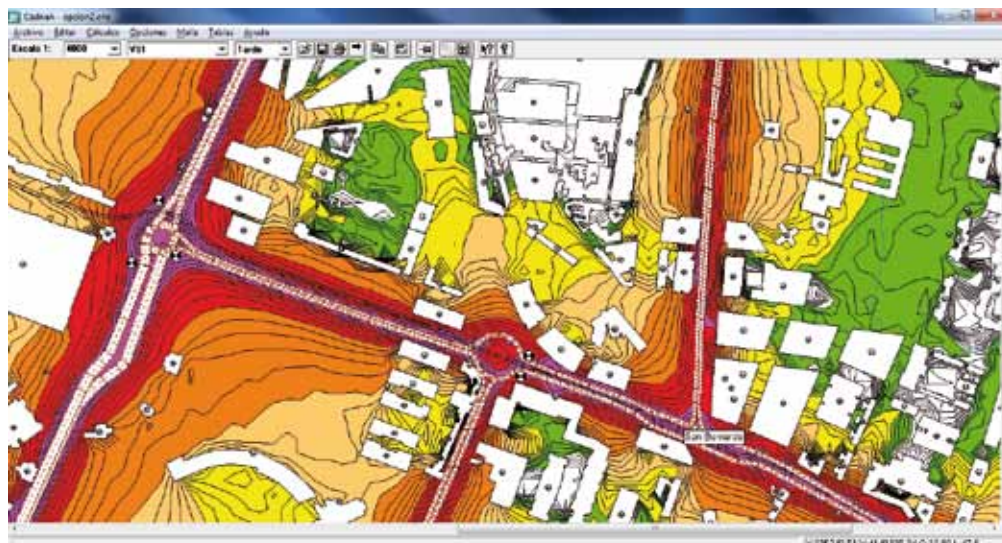
En esta imagen se aprecian los niveles acústicos, periodo Ldía (12 horas), generado por la simulación “Coches más tranvía”, se ha representado aquí justo la vista principal del recorrido del tranvía (Av. De Carlos V – Calle Enromadilla – Av. De Ramón y Cajal), desde la estación San Bernardo hacia Prado De San Sebastián, hasta interceptar la rotonda (final) sobre Av. Méndez Pelayo; igualmente en sentido opuesto. Se han ubicado receptores en edificios y rotondas – intersecciones. Observando desde el interior de la carretera principal hacia los exteriores de ésta, representado los valores principales por colores apreciamos los siguientes niveles acústicos más relevantes:

- Color lila en un rango de 75.2 dB(A) – 82.7 dB(A); el

valor inferior se observa relativamente constante a lo largo del recorrido; y el valor superior se observa en la rotonda final, es decir, a la altura de Av. Méndez Pelayo, más bajo 78.1 dB(A) a la altura de San Bernardo.

- Color rojo en un rango de 70.5 dB(A) – 74.8 dB(A); el valor inferior observado se aprecia a lo largo de la vía principal y las intersecciones; el valor superior se observa a lo largo del recorrido en la vía principal.
- Color café más oscuro en un rango de 65.3 dB(A) – 69.3 dB(A); el valor inferior observado hacia lo largo de la vía principal y en sus intersecciones; y el valor superior se observa relativamente constante a lo largo del recorrido, vía principal.

IMAGEN II. Ltarde



FUENTE: SINCOSUR Ingeniería Sostenible, S.L.



En esta imagen se aprecian los niveles acústicos, periodo Ltarde (4 horas), generado por la simulación “Coches más tranvía”, se ha representado aquí justo la vista principal del recorrido del tranvía (Av. De Carlos V – Calle Enromadilla – Av. De Ramón y Cajal), desde la estación San Bernardo hacia Prado De San Sebastián, hasta interceptar la rotonda (final) sobre Av. Méndez Pelayo; igualmente en sentido opuesto. Se han ubicado receptores en edificios y rotondas – intersecciones. Observando desde el interior de la carretera principal hacia los exteriores de esta, representado los valores principales por colores apreciamos los siguientes niveles acústicos más relevantes:

- Color lila en un rango de 75.3 dB(A) – 82.2 dB(A); el

valor inferior se observa relativamente constante a lo largo del recorrido, superado en 75.8 dB(A) a medida que se acerca a la altura de Av. Méndez Pelayo; y el valor superior se observa en la rotonda final, es decir, a la altura de Av. Méndez Pelayo, más bajo 77.6 dB(A) a la altura de San Bernardo.

- Color rojo en un rango de 70.6 dB(A) – 74.8 dB(A); el valor inferior observado se aprecia a lo largo de la vía principal y las intersecciones; el valor superior se observa a lo largo del recorrido en la vía principal.
- Color café más oscuro en un rango de 65.6 dB(A) – 69.4 dB(A); el valor inferior observado hacia lo largo de la vía principal y en sus intersecciones; y el valor superior se observa relativamente constante a lo largo del recorrido, vía principal.

IMAGEN III. Lnoche

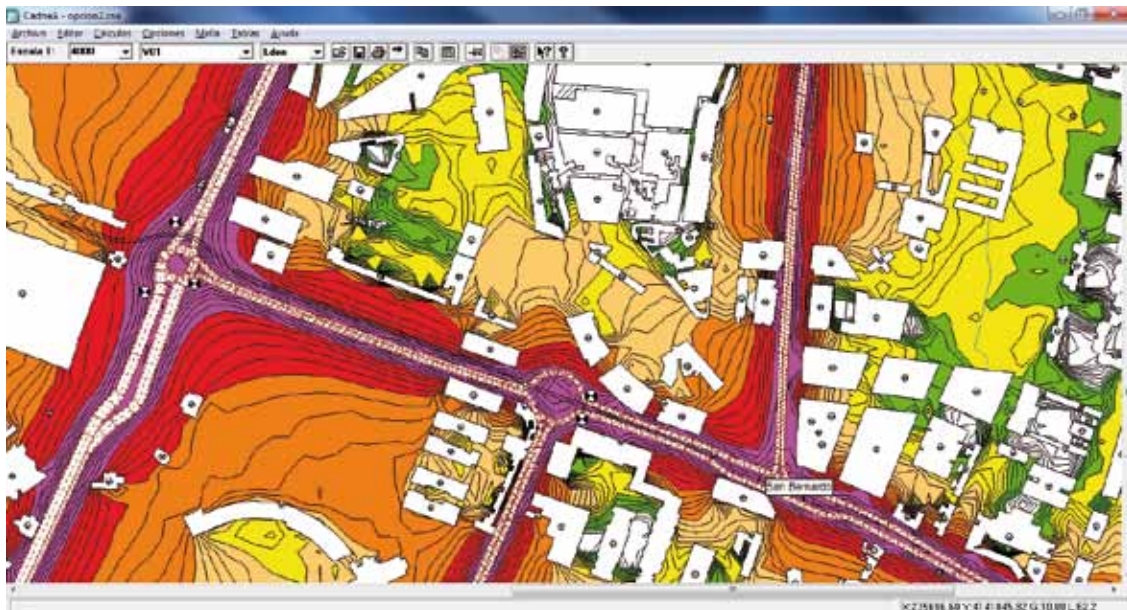


FUENTE: SINCOSUR Ingeniería Sostenible, S.L.

En esta imagen se aprecian los niveles acústicos, periodo Lnoche (8 horas), generado por la simulación “Coches más tranvía”, se ha representado aquí justo la vista principal del recorrido del tranvía (Av. De Carlos V – Calle Enromadilla – Av. De Ramón y Cajal), desde la estación San Bernardo hacia Prado De San Sebastián, hasta interceptar la rotonda (final) sobre Av. Méndez Pelayo; igualmente en sentido opuesto. Se han ubicado receptores en edificios y rotondas – intersecciones. Observando desde el interior de la carretera principal hacia los exteriores de esta, representado los valores principales por colores apreciamos los siguientes niveles acústicos más relevantes:

- Color lila en un valor de 75.4 dB(A), este valor se observa en la rotonda final a la altura de Av. Méndez Pelayo.
- Color rojo en un rango de 70.3 dB(A) – 74.8 dB(A); el valor inferior se observa a la altura de San Bernardo, a lo largo del recorrido no se ve reflejado niveles de ruido; y el valor superior se observa en la rotonda final, es decir, a la altura de Av. Méndez Pelayo.
- Color café más oscuro en un rango de 68.8 dB(A) – 69.5 dB(A); el valor inferior observado en la estación San Bernardo; y el valor superior se observa en la influencia de la rotonda final a la altura de Av. Méndez Pelayo.

IMAGEN IV. Lden



FUENTE: SINOSUR Ingeniería Sostenible, S.L.

En esta imagen se aprecian los niveles acústicos, Lden (índice de ruido día, tarde, noche), generado por la simulación “Coche más tranvía”, se ha representado aquí justo la vista principal del recorrido del tranvía (Av. De Carlos V – Calle Enromadilla – Av. De Ramón y Cajal), desde la estación San Bernardo hacia Prado De San Sebastián, hasta interceptar la rotonda (final) sobre Av. Méndez Pelayo; igualmente en sentido opuesto. Se han ubicado receptores en edificios y rotondas – intersecciones. Observando desde el interior de la carretera principal hacia los exteriores de esta, representado los valores principales por colores apreciamos los siguientes niveles acústicos más relevantes:

- Color lila en un rango de 75.1 dB – 84.8 dB; el valor inferior se observa en la parte intermedia del recorrido (segunda rotonda en la imagen IV), superado por 79.6 dB(A) en San Bernardo; el valor superior se observa en la

rotonda final, a la altura de Av. Méndez Pelayo.

- Color rojo en un rango de 70.2 dB – 74.6 dB; el valor inferior se observa a lo largo del recorrido hacia los exteriores de la vía principal; y el valor superior se observa a lo largo del recorrido.
- Color café más oscuro en un rango de 65.6 dB – 69.2 dB; el valor inferior observado se mantiene relativamente constante hacia los exteriores de toda la vía principal; y el valor superior se observa a lo largo de la vía principal.

### CONCLUSIONES

- En la presente investigación se han analizado los diferentes tipos de modelos disponibles en la actualidad para simular ruido de tráfico rodado. Observando sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. Notando claramente que existe una marcada tendencia a utilizar

los modelos de micro simulación, tanto en la actualidad como en el futuro cercano.

- Se utilizó en la metodología, un “caso de estudio”, que se enmarca perfectamente en los objetivos del estudio, para modelar de forma predictiva, el análisis de la influencia sobre el ruido ambiental, en una ciudad tipo, que tiene la implementación de un sistema de priorización del transporte público.
- En cuanto a la hipótesis, considerando que este “caso de estudio piloto” en Sevilla, se encuentra en proceso de ejecución, no se ha podido realizar medidas de comprobación, dificultando probar que se cumple, en el momento que se realizó la investigación. El modelado predictivo, permite visualizar que se reduciría el ruido ambiental regulando el tráfico, mediante intersecciones donde se disminuye la velocidad, decretando vía de uso peatonal y preferencia semafórica por

donde hace su recorrido el tranvía.

- En la Alternativa 2. Simulación “Coches más tranvía”, el nivel acústico de valor inferior más bajo registrado se refleja en las imagen V Ldia de 65.3 dB (A). Este valor se observa hacia el exterior de la vía principal y en sus intersecciones. El nivel acústico de valor superior más alto registrado se refleja en la imagen V. Ldia, de 82.7 dB(A), en la rotonda final en Av. Méndez Pelayo, valor que supera los

niveles permitidos indicados en RD1367-2007 Anexo II Tabla A. De forma general, en los diferentes periodos, los niveles acústicos más altos se reflejan a lo largo de la vía principal, y se incrementan en la influencia de la rotonda final sobre la Av. Méndez Pelayo. Conociendo que el número de vehículos/hora (en la vía Av. De Carlos V – Calle Enramadilla – Av. De Ramón y Cajal, en ambos sentidos), de día – tarde – noche, es 708.67 – 658.75 – 104, respectivamente.

#### AGRADECIMIENTOS

*El autor, quisiera agradecer, a la empresa SINCOSUR Ingeniería Sostenible S.L; que facilitó la principal información del “Estudio Piloto del Tranvía de Sevilla”, y al soporte técnico del Laboratorio de Acústica Ambiental de la Universidad de Cádiz, representados principalmente por los Drs. José Luis Cueto y Ricardo Hernández.*

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Comisión Europea. LIBRO VERDE. Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético. Italia, 2001. [http://europa.eu.int/comm/energy\\_transport/es/lpi\\_es.html](http://europa.eu.int/comm/energy_transport/es/lpi_es.html)
- Comisión Europea. Directrices para la Reducción del Ruido causado por el Tráfico Rodado. Proyecto SMILE: Sustainable Mobility Initiatives for Local Environment. [www.smile-europe.org](http://www.smile-europe.org)
- España, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), 1995, Reducción del ruido en el entorno de las carreteras. I.S.B.N.: 84-498-0173-7
- HARMONOISE, Source modelling of road vehicles, Technical Report, 2003. [www.tno.nl](http://www.tno.nl)
- HIGHWAY TRAFFIC NOISE ANALYSIS AND ABATEMENT POLICY AND GUIDANCE. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Washington, D.C. 1995. <http://www.fhwa.dot.gov/research/>
- LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. BOE. Núm. 276
- LEY 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental. BOJA. núm. 143. Sevilla.
- KRAMER, C. SANCHEZ, V. GARDETA, J. (1995). Elementos de Ingeniería de Tráfico. Caminos y Aeropuertos, Departamento de Transportes, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, Quinta Edición.
- SANCHEZ, V. GARDETA, J. Ingeniería de Tráfico Vial. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Primera Edición, España, 1997.
- SANZ, A. Calmar el tráfico. Ministerio de Fomento. Serie monografías. Madrid. 1998
- STOILOVA, K y STOILOV, T. Traffic Noise and Traffic Light Control. Elsevier Science, 1998, Vol. 3, No. 6, pp. 399-417.
- Unión Europea. Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, 25 de junio de 2002.
- VALDES, Antonio. (2008). Ingeniería de Tráfico. BELLISCO Editorial, Madrid, 3ª Edición.